

## 3. 해설기사

### [1] 왜 우리는 해저탐사에서 음파를 사용하는가?

#### The Reason Why to Use Acoustic Waves on the Sea-Bottom Survey



김 성 렬

Seong-Ryul Kim

- 한국해양연구원 책임연구원
- E-mail : srkim@kordi.re.kr

#### 1. 머리말

우리는 책을 읽고 있는 중에도, 주위에서 간간히 들리는 여러 가지 소리도 듣고 있다. 눈을 돌려서 확인해 보지 않더라도 저것은 자동차 소리이고 이것은 TV 소리라는 것을 단박에 알 수 있다. 왜 그런가? 우리는 여러 가지 다양한 경험을 통해서 '저것은 무엇이다.'라고 이미 알고 있기 때문이다. 그러면 나는 어떤 경험을 통해서 그것을 알게 됐을까? 봤기 때문이다. 어떻게 봤냐면, 그 소리를 들어 봤기 때문이다. 그러니까, 눈으로 보는 것이 보는 것이 아니라는 뜻이다. 들어 보고, 만져 보고, 먹어 보고, 느껴 보고, 등등 여러 가지의 보는 방법을 통하여 우리의 지식은 점점 깊어지고 넓어지고 단단해 진다.

이 글은 해저를 탐사하는 도구로 사용되는 음파에 관한 내용이다. 음파는 소리이다. 다시 말하면, 소리로 바다 밑 땅속을 보는 방법에 관한 이야기이다. 그러면, 소리로 어떻게 볼 수 있는가? 유리 탁자를 한번 두드려 보자. 나무책상도 두드려 보고, 철재로 된 대문도 두드려 보자. 소리가 다를 것이다. 우리는 이 소리를 듣기만 했다고 하자. 그

렇지만 유리인지 나무인지 그리고 철물인지 구분할 수 있다. 음파는 부딪히는 매질의 종류에 따라서 되돌아오는 반사파 음향의 진폭과 주파수는 조금씩 차이가 있다. 바다 밑 땅속으로 음파를 보내고 들리는 소리를 들어 보면 그곳이 어떤 상태인지 알 수 있다. 똑 같은 원리이다. 여기서 소리를 듣는다는 말은 반사파 음향신호를 분석한다는 뜻이다.

해저자원을 개발하고 이용하기 위해서는 해저탐사가 먼저 수행되어야 부존자원의 유무, 위치, 매장량, 개발가치 등을 판단할 수 있다. 이러한 탐사 활동에 사용되는 탐사장비와 조사방법 등은 실무적인 차원이다. 여기서는 해저탐사의 기본적인 개념에 대한 내용을 살펴보고자 한다. 그런데 그 원리라는 것이, 우리가 늘 교육현장에 적용하고 있는 관찰(실험)의 기초개념에서 출발하고 있다는 사실이다. 집을 짓는 데에는, 터파기, 기초다지기, 골조세우기, 외벽올리기 등 크게 네 단계로 공사가 진행된다고 한다. 이 글에서도 해저를 '본다'는 의미, 음파특성의 쉬운 이해, 해저탐사에 적용, 음파탐사의 이중성과 발전방향, 네 단계로 구성하였다. 해양탐사를 이해하는 지식의 건물이 튼튼하게

완공되기를 기대하면서....

## 2. 탐사는 '본다'는 의미

관찰(觀察)이란, 자세히 보고 조사를 통해 현상을 이해하는 행위라는 뜻일 것이다. 흔히들, 아는 것이 많은 사람을 식견(識見)이 높다고 말한다. 그리고 百聞不如一見(백 번 듣는 것 보다 한 번 보는 것이 낫다)라는 한자성어의 표현에서도 마찬가지로, 알게 된 지식(또는 터득한 경험)은 '본다(見)는 것'과 결코 무관하지 않다. 우리의 말과 글은 이런 면에서 참으로 과학적이다. 여기에 살구가 하나 있다고 가정하자. 생각만 해도 벌써 입속에는 침이 고이기 시작한다. 우리는 왜 이렇게도 살구에 대하여 즉각적인 반응을 보이는가. 먹어본 경험이 있기 때문이다. 우리의 지식은 경험을 통해서 형성되는데, 그 경험은 '본다는 행동'에 기초를 두고 있다. 여기서 본다는 의미는, 시각(눈으로 보는 것)만을 뜻하는 것은 아니다. 넓은 의미로서 포괄적이다. 즉 어떻게 경험하느냐는 접근방법의 차이일 뿐 결국은 보는 것이다.

관찰하는(보는) 방법을 한번 생각해 보자(표 1). 우리 몸의 허리, 체중 그리고 체온은 줄자, 체중계 그리고 체온계로 재어(달아) 보면 알 수 있다. 그렇다면, 지구의 크기, 질량, 그리고 지열은 무엇으로 어떻게 재어(달아) 볼 것인가? 그럼에도 불구하고, 우리는 그 수치를 대략 알고 있다. 이 값은 줄자, 저울, 온도계로 측정한 결과는 분명 아닐 것이다. 다양한 방법과 도구를 이용하였다. 관측된 자료와 실험한 결과를 가지고 계산한 값이다. 이견이 없는 우리의 정착화된 지식이다.

표 1 연구대상에 접근하는 방법과 도구

알고싶은 대상	방법	관찰	도구	이해	결과
허리의 둘레를 몸의 무게를 몸의 체온을	재어 달아 재어	본다	줄자 체중계 체온계		정 착 화 된
지구의 반경을 지구의 무게를 지구의 온도를	재어 달아 재어	본다	?	6,400 km $6 \times 10^{24}$ kg 6,000° K	
바다의 수심을 해양의 모양을 해저의 물체를	측량해 조사해 촬영해	본다	측심기 탐사기 카메라		지 식

우리가 어떤 현상을 이해하고 지식으로 고정관념을 갖기까지는 일단 '본다'는 행동으로부터 시작된다. 눈으로 직접 보고 이해하는 것이 제일 정확하다고 생각하지만, '본다'는 의미를 좀 더 폭넓게 인정한다면, 이 세상에는 꼭 시각을 통하지 않고도 이해되는 지식이 훨씬 더 많다는 사실이다. 방법상의 차이일 뿐이다. 예를 들어 깊은 바다의 수심을 알아보려면 음향측심기를 이용하면 된다. 음향측심기의 원리는 음파를 이용한다. 음파라는 간접적인 수단을 통하여 바다의 깊이를 알게 된다. 즉 어떤 도구를 이용하여 현상을 보게 되고, 이해가 되면 그것이 우리의 지식으로 남게 된다. 실상 직접 본다는 것 자체도, 광파라는 빛이 정보전달자의 역할을 하기 때문이다.

우리의 몸은 다섯 가지 감각을 가지고 사물을 본다. 수족관에서 물고기의 모양을 직접 관찰하는 것은 우리의 시각이다. 가수가 노래를 잘 부르는지는 들어보는 청각을 사용한다. 그리고 꽃의 향기는 냄새를 맡아보는 후각으로, 음식의 맛은 먹

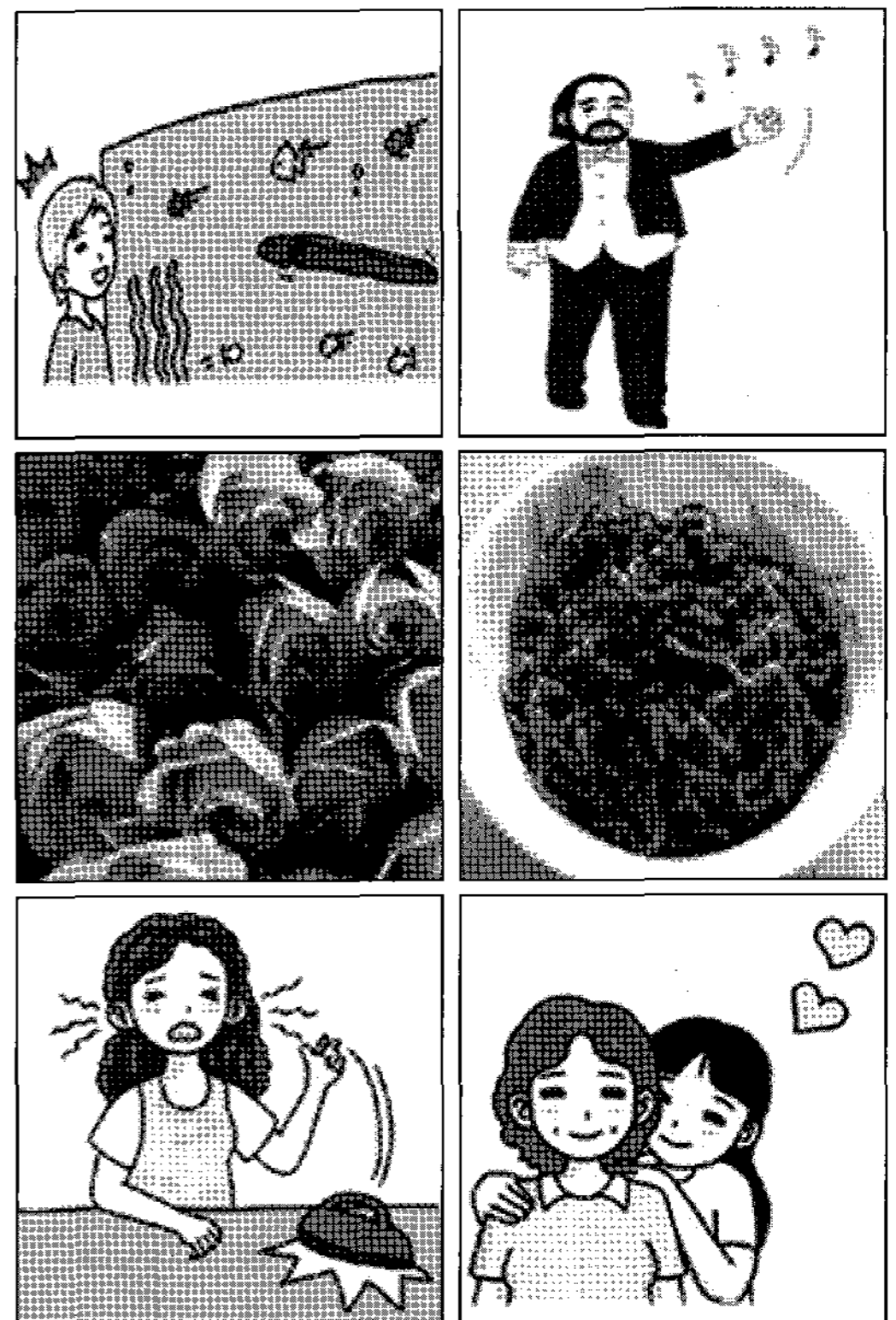


그림 1. 보고 알게 되는 방법은 여러 가지.

어보는 미각으로, 물체의 상태나 모양은 만져보는 촉각을 사용하고 있다. 우리는 오감(五感)을 사용하여 본 경험을 바탕으로 사물이나 현상이 이해가 되면, 이것이 우리의 지식으로 고정관념이 된다. 하나 더, 우리는 여섯 번째 감각인 감성을 가지고 있다. 어머니의 사랑을 어떻게 볼 수 있는가? 느껴보면 알 수 있다. 이것을 우리는 육감(六感)이라고 한다. 이렇듯이 우리의 몸은 여러 가지의 방법으로 어떤 현상을 보면서 추상적인 개념까지도 이해하게 된다(그림 1).

일상적인 생활언어에서도 ‘본다’는 표현은 얼마든지 찾을 수 있다. 예를 들면, 생각해 본다, 만나 본다, 읽어 본다, 찾아 본다, 공부해 본다, 실험해 본다, 말해 본다, 알아 본다,... 등등. 이 모두가 보는 방법의 다양성을 부연하여 표현하고 있다. 우리는 ‘수학 문제를 풀어 본다.’ 또는 ‘답을 구해 본다.’ 라는 말이 전혀 어색하지 않다. 답을 찾는 과정도 보는 것이기 때문이다.

바다 밑 땅 속을 보기 위해서는 방법과 도구가 필요하다. 우리 몸의 허리둘레는 줄자로 잴다. 여기서 줄자는 도구에 해당되며, 재어 보는 것은 방법이다. 우리는 가끔 등산을 간다. 정상에 올라서 앞에 보이는 ‘저 산까지는 거리가 얼마나 될까?’하는 생각을 할 때가 있다. 물론 측량해 보면 정확하게 알 수 있지만, 소리를 질러 봐도 대충은 알 수 있다. 소리는 공기 중에서 1초에 약 340m를 간다. 되돌아오는 메아리가 몇 초 만에 들리는지 시간을 재어 보면 알 수 있다. 여기서 소리는 도구이고 시간을 재어 보는 것은 방법이다. 바다 밑 지형의 깊이는 어떻게 재는가. 소리로 측정한다. 소리는 물속에서 1초에 약 1,500m를 간다. 따라서 직접 눈으로 볼 수는 없지만, 소리(음파)라는 도구를 이용하여 탐사하는 방법으로 해저의 모양을 본다.

우리가 어떤 현상이 이해(know)가 되면 지식(knowledge)으로 남게 되는데, 일단 ‘본다’는 행동에서 시작 된다. 눈으로 직접 보고 이해하는 것이 제일 많다고 생각할 수 있겠지만, 눈으로 보지 않고도 이해가 되는 지식이 훨씬 더 많다. 즉 어떤 방법과 도구를 이용하여 현상을 보고 이해가 되면, 그것이 우리의 지식으로 남는다. 직접 본다는 것도, 사실은 빛(광파)을 이용하는 행동이다. 이와

같이 관찰학습의 기본개념은 간접적인 방법이나 도구를 통하여 현상을 보는 활동이다. 과학은 자연현상에 관하여 질문해 보고, 그 대답을 찾아보고, 또 질문을 점검해 보는 체계적인 과정이다. 어떤 자연현상을 항상 변함없이 그렇게 설명할 수 있을 때에 법칙(law, 예를 들면, 만유인력의 법칙)이라는 용어를 쓴다. 그러나 과학적인 방법으로 그 현상(이치)을 설명할 수 있다고 해서 절대진리(true)라고는 말할 수 없다. 현재까지의 결과에, 새로운 지식이 늘어나고 관찰방법이 더 발전한다면, 그 진리는 달라질 수도 있기 때문이다. 즉 임시적이며, 현재의 결과가 나중에도 변함없이 적용되는 그 때까지만 진실일 것이다. 그래서 연구(research)한다는 영어 단어가 갖는 의미 역시, 다시(re) 되풀이해서 끊임없이 찾아본다(search)는 뜻이 아닐까 싶다.

### 3. 음파특성

#### 3.1 음파특성의 쉬운 이해

해저탐사의 기본적인 도구는 소리(음파)이다. 음파를 소개하기에 앞서, 한 일간지의 과학상식 칼럼에 게재되었던 전파(레이더)에 관한 이야기(그림 2)를 먼저 살펴보고자 한다. 땅(바다) 속을 드러다 보는 원리가 비슷하기 때문이다. 본문의 내용을 요약해 보면 다음과 같다.

주파수(frequency)란 단위시간 내에 진동하는 횟수를 말한다. 진동수와 같은 뜻이다. 따라서 고주파(high frequency)는 진동수가 많고 파장이 짧지만, 저주파(low frequency)는 진동수가 적고 파장이 길다. 일반적으로 전자파(electromagnetic wave)란 전파와 광파를 포함하는 말이다. 전자파를 파장이 짧은, 그래서 고주파인 단파부터 장파 순으로 나열해 보면 감마선(gamma ray), X-선, 자외선(ultraviolet), 가시광선(visible), 적외선(infrared), 전파(radio) 등으로 크게 구분할 수 있다. 그리고 가시광선 내에서 비교해 본다면 빨간색은 저주파이고, 보라색은 고주파인 셈이다.

빨간색이 보라색 보다 낮은 주파수이고, 낮은 주파수 대역일수록 투과력이 우수하다. 따라서 안

### 재미있는 전파 이야기

## 레이더로 땅속까지 훤히 본다

가정용 전기는 60Hz(헤르츠)의 주파수를 사용하고 있으며 60Hz란 1초에 60번 양극(+)과 음극(-)이 바뀌고 있다는 것을 말한다. 전파의 주파수 범위는 해석하기에 따라 다를 수 있으나 국제통신법에서는 3THz(테라헤르츠, 초당 3조번 진동) 이하의 전자파를 말하며 그 이상의 주파수를 가지는 전파는 빛(光)으로 분류한다. 빛은 그 주파수에 따라 원적외선·적외선·가시광선·자외선으로 분류한다. 가시광선은 우리가 잘 알고 있는 바와 같이 그 주파수에 따라 '빨·주·노·초·파·남·보'로 구분한다. 우리가 느낄 수 있는 가시광선의 주파수는 350 ~ 750THz 정도이다.

주파수가 낮은 전파일수록 방해물을 투과하는 성질이 좋으며 주파수가 높은 전파일수록 에너지가 높고 직진성이 강하다.

신호등의 정지 신호로 빨간색을 사용하는 이유는 빨간색의 주파수가 다른 가시광선의 주파수보다 낮아서 안개나 먼지 등의 방해물이 있더라도 멀리까지 잘 보이기 때문이며 하늘이 파랗게 보이는 이유는 주파수가 높은 '파·남·보' 색깔의 빛이 주파수가 낮



은 색깔의 빛에 비해 미세한 먼지 등에 의해 더 많이 반사되기 때문이다.

주파수가 높은 자외선은 그 에너지는 크지만 인체를 통과할 수 없어 피부에만 반응하는 것이며 주파수가 낮은 원적외선은 인체 내부까지 그 열기를 전달할 수 있기 때문에 의료용으로 사용되기도 한다.

전파와 빛은 같은 특성을 가지고 있기 때문에 전파를 이용하여 물체를 관찰할 수도 있는데 전파망원경이 그 대표적인 예다. 전파는 대기 중의 먼

지 등에 의해 방해물 될 받기 때문에 전파망원경을 사용하면 광학망원경을 사용할 때보다 더욱 정밀하게 우주를 관찰할 수 있다.

또한 전쟁영화에서 흔히 볼 수 있는 레이더도 전파를 이용한 관측장비의 일종이다. 구름 등에 가려져 망원경을 통해서 볼 수 없는 물체를 빛보다 주파수가 낮은 전파를 사용함으로써 구름을 뚫고 더 멀리 볼 수 있는 것이다.

전파는 벽이나 땅속을 뚫고 들어갈 수 있으므로 그런 곳을 투시할 수 있다. 지하 투시용 레이더는 아직은 세밀한 영상을 볼 수 있는 수준은 아니지만 차세대 무선통신에 이용될 초광대역 기술이 점목되면 수년 내에 직접 눈으로 보는 것과 같이 세밀한 영상을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 땅속 투시 기능은 지하에 매설되어있는 전력선·가스관·수도관 등을 미리 확인하여 대형사고를 예방하는 데 사용될 뿐 아니라 건물 붕괴나 화재 등 각종 재해 현장에서 생존자를 구출하는 데 중요한 역할을 하게 될 것이다.

이창석 한밭대 전파공학과 교수

그림 2. 한 일간지에 게재된 전자파(레이더)에 관한 이야기

개 등의 방해물이 있더라도 멀리까지 잘 보이는 적색등을 정지신호로 사용하고 있으며, 적외선은 인체 내부를 투과하므로 진단하는 의료용으로도 사용된다. 또한 빛에 비하여 전파는 저주파이므로, 대기 중의 먼지 등에 의해 방해물 될 받는 전파망원경이 광학망원경보다 우주를 정밀하게 관찰할 수 있다. 빛은 구름에 가리지만 전파는 투과하므로, 적외선망원경은 물체를 식별하는데 용이하여 군사용으로 개발되고 있다. 레이더는 좀 더 낮은 전파대역이다. 아직은 세밀한 영상을 볼 수 있는 수준은 아니지만, 수m 정도까지의 땅속 물체는 감지가 가능하여 지하매설 시설물(전력선, 수도관, 가스관 등)을 확인하고 있다.

이 내용을 좀 더 압축하면, 빛보다 전파가 저주

파이므로 방해물질이 있더라도 투과력이 강하여 잘 볼 수 있다는 뜻이 된다. 그렇다면, 주파수의 관점에서 볼 때 음파는 전파(레이더)보다 더 저주파이다. 따라서 음파를 이용하면 해저의 모양과 땅 속의 지층구조를 훤히 볼 수 있다는 지극히 자연스러운 결론에 도달한다. 우리가 알고 있듯이, 지구의 내부구조에 관한 지식 역시 지진파를 이용한 연구결과이다.

### 3.2 주파수 대역과 음파특성

광파(또는 전자파)는 물에서 전달에너지의 감쇠(attenuation)가 너무 심하여 수층을 투과하는데 한계가 있지만 음파의 경우는 매우 좋은 전달

매체로 작용한다. 따라서 수중 또는 해저탐사에 사용되는 대부분의 탐사장비와 기술들은 음파를 이용하는 방법을 채택하고 있다. 아무리 깨끗한 해역이더라도 광파(햇빛)는 수면에서 약 200m 이상을 투과하지 못한다. 심해로 내려가면 캄캄한 밤이다. 그러나 음파를 이용하면 해저의 모양을 훤히 들여다 볼 수 있다. 해저조사에 적용되는 음파탐사 방법은 여러 가지가 있으나, 해저지형을 조사하는 음향측심, 지층구조와 퇴적층의 형태를 조사하는 지층탐사, 그리고 해저면을 평면적 영상으로 표현하는 측면주사음향탐사 이 세 가지를 간단히 소개토록 한다.

일반적으로 파동의 특성은 주파수에 있다. 음원(sound source)이 저주파일수록 투과력(penetration)은 높아지지만 해상력(resolution)은 낮아진다. 고주파의 경우는 그 반대이다. 즉 저주파는 바다 깊은(또는 먼) 곳까지의 정보를 알 수 있지만 해상력이 낮다. 그러나 고주파는 깊이(또는 멀리)까지는 도달할 수 없지만 얕은(또는 가까운) 곳의 정보는 저주파보다 훨씬 상세한 정보를 제공한다. 여기서 또 한 가지 파동의 공통적인 특징은, 전달에너지는 주행거리와 주파수에 비례하여 감소한다. 즉 멀리 갈수록 전달에너지는 감소하며, 고주파 일수록 전달에너지의 감소량은 더 커진다. 따라서 저주파 파동이 고주파 파동보다 더 멀리 갈 수 있는 이유가 여기에 있다.

음향측심기의 경우 천해용은 200kHz이고 심해용은 12~34kHz 대역이다. Side scan Sonar의 주파수 대역은 100~500kHz 정도이다. 주파수 대역이 10kHz 이하로 낮아지면 점차적으로 해상력보다는 투과력이 우세해지면서 해저(면) 하부의 지층을 투과하게 되며, 탐사대상 목표가 수중과 해저면에서 더 심부로 옮겨지게 된다. 주파수 대역이

수십~수백Hz 정도로 낮아지면 지하 수km까지의 지층단면을 조사하는 석유탐사 분야에 해당된다. 여기서 10Hz 이하로 더 낮아지면 지진파의 범주에 속하며 지구의 내부구조를 밝히는데 이용된다.

이상의 내용을 음파특성과 함께 표 2와 같이 요약 정리할 수 있다. 음향측심에서, 천해용이라는 의미는 일반적으로 수심 200m 이하를 뜻한다. 음파가 멀리까지 갈 필요가 없으므로 고주파를 이용한다. 그러나 심해용의 경우 수km를 가야하므로 전달에너지의 감소량이 적은 저주파를 선택하게 된다. 지층탐사의 경우, 해저퇴적층을 투과해야 하므로 음향측심 보다는 주파수가 낮아야 한다. 그리고 심부가 목표인 경우 상대적으로 더 낮은 주파수 대역을 선택해야 한다. 그러나 해상력에 있어서 천부탐사에 비하여 좋지 않을 것이다. 측면주사음향탐사에서도 광역에 비하여 협역에서 탐사 범위가 짧으므로 고주파를 사용한다. 따라서 협역일수록 해저의 정보는 더 상세히 파악된다.

#### 4. 해저탐사에 적용

##### 4.1 해저지형

음파(약 200kHz)를 바다 밑으로 쏘아 보낸 뒤, 해저면에서 반사되어 되돌아 올 때까지 걸린 주행 왕복시간으로 바다의 깊이를 측정한다. 수중에서 음파전달속도는 약 1,500m/s이다. 음파가 측심기에서 해저까지 왕복한 시간에 음속을 곱하고 2로 나누면 수심을 계산할 수 있다. 그러나 바닷물의 온도, 염분, 수압 등은 깊이에 따라 변하고 지역과 계절에 따라서도 다르다. 이러한 환경요인들은 음속에 영향을 미치므로, 음속을 보정하여야 정확한 수심을 측정할 수 있다.

표 2 음원의 주파수에 따른 음파특성과 탐사분야의 구분

구분	해상력	투과력	감쇠량	음향측심	지층탐사	측면주사탐사
고주파	크다	작다	크다	천해용	고해상(천부)	고해상(협역)
저주파	작다	크다	작다	심해용	저해상(심부)	저해상(광역)
					천해용(고주파)	
					심해용(저주파)	

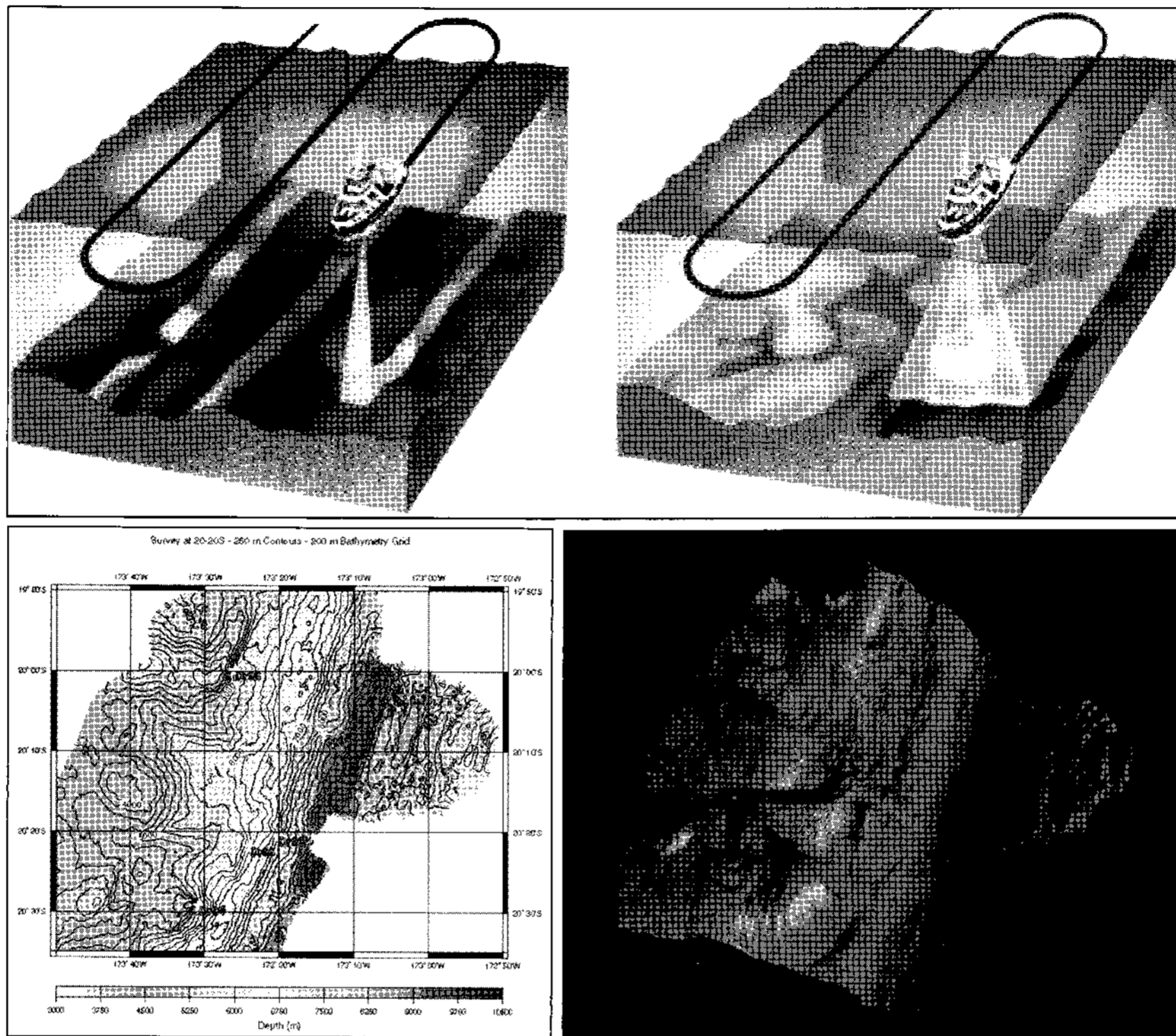


그림 3. 단빔과 다중빔 음향측심기의 자료취득 방법과 자료처리 결과의 비교

음향측심의 운영방법과 해저지형의 조사결과를 설명하고 있다(그림 3). 음향측심기는, 음파를 송신하고 수신하는 송수파기(transducer)의 기능이 하나인가 또는 여럿인가에 따라서 단빔(single beam)과 다중빔(multi beam)으로 구분한다. 왼쪽은 단빔을 오른쪽은 다중빔으로 해저지형을 조사하는 방법을 도식적으로 설명하고 있다. 단빔의 경우 조사선이 진행하는 항로의 직하부에 대한 선 개념의 수심을 측정하지만, 다중빔은 면 개념으로 수심정보를 취득하므로 짧은 시간에 넓은 해역을 조사할 수 있다는 장점이 있으나, 가격 면에서 비교할 수 없을 정도로 고가일 뿐만 아니라 자료의 양이 방대하여 자료처리를 위한 별도의 전산시스템이 필요하다. 그러나 상세한 지형정보가 격자 형태로 취득되므로 3차원적인 표현과 해석이 가능하다.

#### 4.2 해저지층탐사

음향측심에서는 음파가 지층을 투과할 필요는 없다. 단지 해저에 도달했을 때 반사되어 튕겨 나

오면 된다. 그러나 지층탐사에서는 해저퇴적층을 투과해야 한다. 따라서 음향측심에 비해 낮은 음향주파수를 사용한다. 지층탐사는 투과심도에 따라서 천부지층탐사와 심부지층탐사로 구분한다.

천부지층탐사는 일반적으로 1~10kHz 대역의 주파수를 사용하며, 해저면 하부 수m에서 수십m까지의 탐사가 목적이다. 심부지층탐사에 비하여 고주파, 저투과력, 고해상력, 저에너지가 특징이며, 천부의 해저지질구조 및 연안토목, 매물체 탐사 등에 적용된다. 그러나 심부지층탐사는 10Hz~1kHz 정도의 더 낮은 주파수 대역을 선택하며, 해저면 하부 수백m에서 수km까지가 탐사목표이다. 저주파, 고투과력, 저해상력, 고에너지가 특징이며, 지하 심부의 해저지질구조, 석유 및 가스전 탐사 등에 적용된다. 그림의 좌측은 음파를 발신하고 수신하는 수중예인용 송수파기의 모습이며, 우측은 현장조사에서 취득되는 지층탐사 기록단면을 보여주고 있다(그림 4). 기록의 제일 윗부분은 해저면이며 제일 밑에 보이는 검은 선은 기반암이다. 그

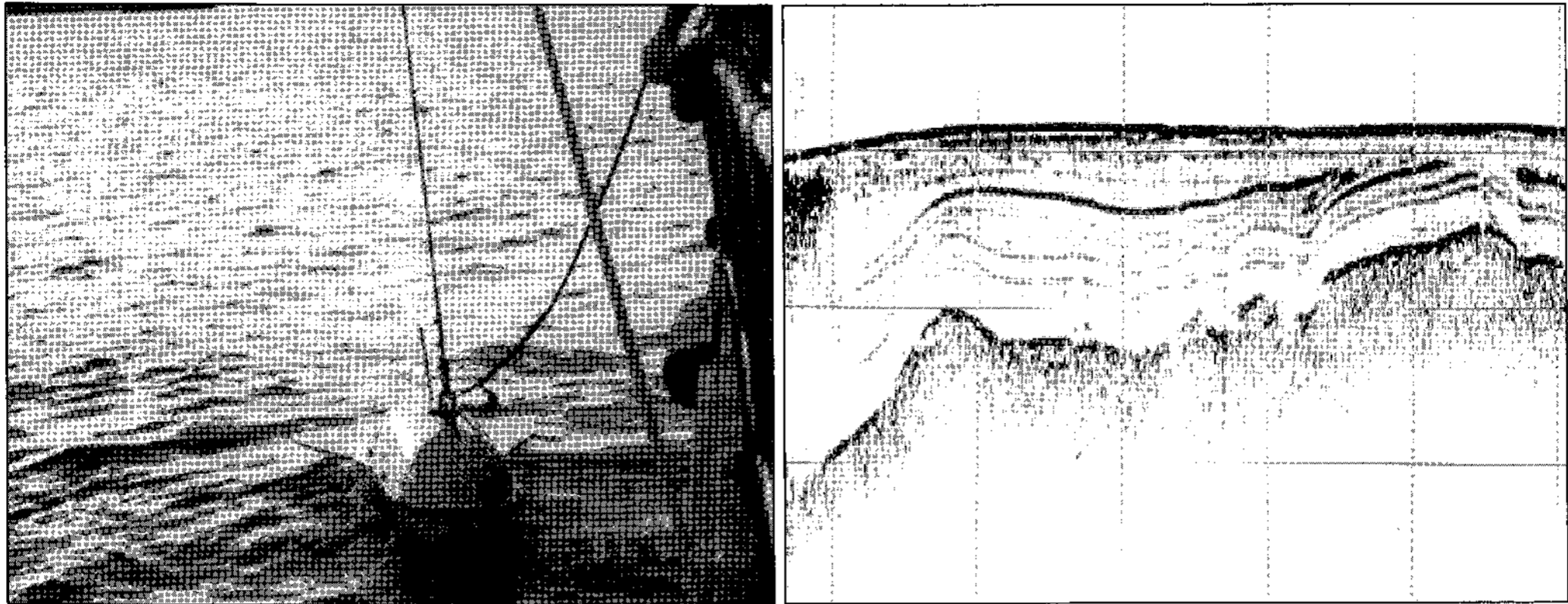


그림 4. 천부지층탐사기의 예인형 송수파기와 지층탐사 기록단면

사이의 퇴적층은 크게 두 개의 층으로 구분된다. 상부는 현재 퇴적이 진행되고 있는 현생퇴적층이며 하부는 과거의 퇴적층으로서 퇴적환경이 주기적으로 몇 번의 변화가 있었던 것으로 해석된다.

#### 4.3 측면주사 해저면탐사

해저를 평면적 개념에서 음향학적으로 영상화하는 탐사장비가 Side scan Sonar이다. 장비의 이름에서 알 수 있듯이, 조사선의 항로를 중심으로 좌·우측(side)의 해저면을 음파(sonar)로 훑어(scan) 나가면서 해저의 형태를 영상으로 표현하게 된다. 마치 TV 화면이 여러 개의 주사선(scan line)으로 채워지는 것과 같은 원리를 적용하는 탐사방법이다.

탐사범위(survey range)에 따라서 협역(狹

域)탐사와 광역(廣域)탐사로 구분한다. 협역탐사는 주로 천해용이며, 탐사범위는 조사선의 항로를 중심으로 수백m 이내이고 음향주파수는 100~500kHz 정도의 대역이다. 광역탐사는 주로 심해용이며, 탐사범위는 1~20km이고 100kHz 이하의 저주파 대역이다. 지층탐사는 해저의 하부를 수직으로 자른 단면(vertical section profile)으로 지질구조를 표현하는 반면, 측면주사음향탐사는 수평면(horizontal area mapping)으로 해저면을 영상화한다는 점에서 차이가 있다. 해저의 지질구조와 형태, 해저광물자원, 그리고 해저의 구조물 설치(예: 통신케이블, 전력케이블, 파이프라인 등)를 위한 지질재해 위험요소(geohazard) 탐사 등에 활용되고 있다. 그밖에 연안역 개발에 따른 항만공사의 입지조건, 골재자원 확보를 위한 분포조사, 교각하부의 지반침하 확인 등의 분야에서도

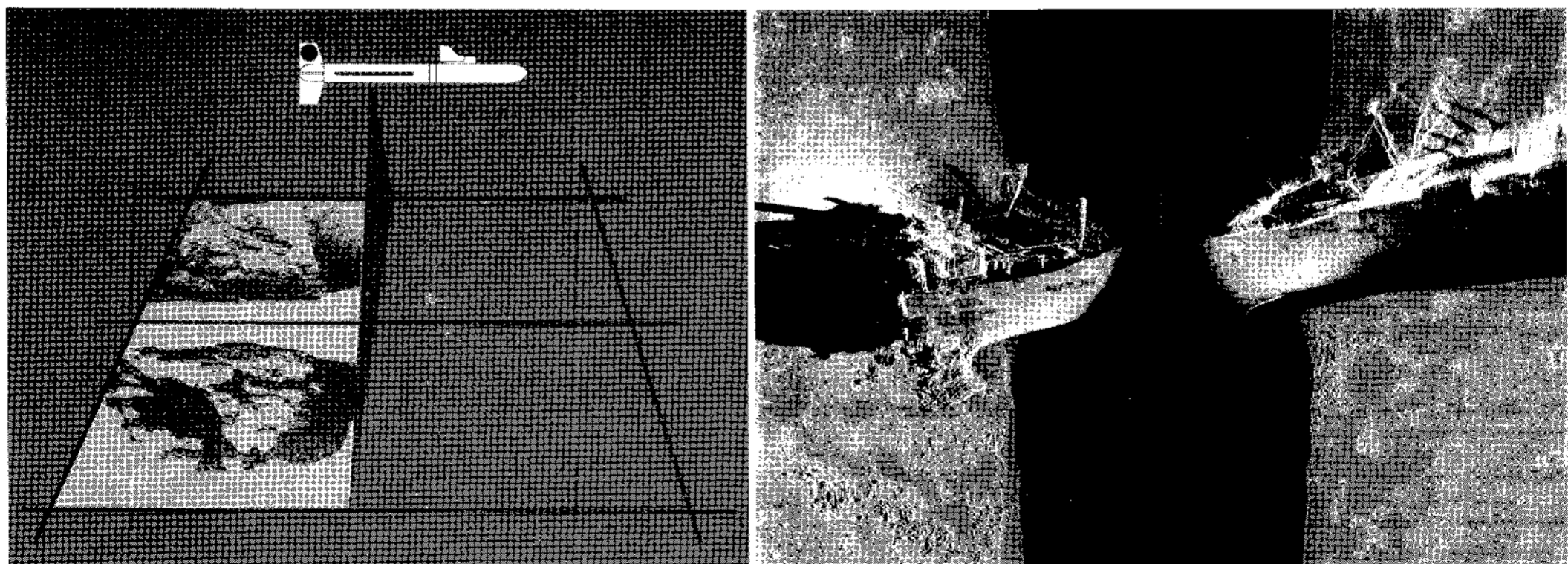


그림 5. 해저면의 형태가 영상화되는 탐사원리와 해저에 노출된 침물선의 모습

활용되고 있다. 해저(면)에 놓여있는 이상물체(예: 침몰선박, 어초, 해양투기물 등)에 대한 현황과 위치, 모양 등에 대한 상세한 형태까지도 음향영상 모자이크 처리기법으로 표현이 가능하다. 좌측 그림은 측면주사로 해저면의 형태가 음파로 영상화되는 탐사원리를 도식적으로 설명하고 있으며, 우측은 해저에 침몰한 선박의 음향영상이다(그림 5).

## 5. 음파탐사의 이중성과 유·무인 잠수정

### 5.1 유·무인 잠수정

사물을 가장 깨끗하게 볼 수 있는 도구는 광파이다. 해양에서는 광파의 한계성 때문에 음파를 채택하고 있다. 그러나 앞에서 보았듯이 해상력이 높은 고주파는 투과력에 한계가 있고, 투과력이 높은 저주파는 해상력에 한계가 있다. 그렇다면, 멀리(또는 깊이)있는 대상을 보기 위해서는 결국 저주파를 쓸 수밖에 없는데, 낮은 해상력으로 만족해야 하는가? 멀리(또는 깊이) 있더라도 높은 해상력으로 목표물을 관찰할 수 있는 방법은 없겠는가?

이에 대한 답은 우리가 대상 목표물에 접근하는 방법이다. 이러한 목적으로 개발된 장비가 원격조정장치(remotely operated vehicle, ROV)라고 볼 수 있다. 해양에서는 주로 유인 또는 무인으로 운영되는 잠수정(bathyscaphe)을 개발하여 사용해 오고 있다. 북극 근처에서 침몰한 타이타닉호의 탐사에 쓰여 널리 알려져 있는 미국 우즈

홀(Woods Hole) 해양연구소의 앨빈(Alvin)은 1964년에 건조되었으며 수심 4000m까지 잠수가 가능하고 3명이 승선할 수 있다. 1981년에 건조되어 일본 JAMSTEC에서 운영하고 있는 Shinkai 6500은 세계에서 가장 최신형이며 3명이 승선하여 수심 6500m를 넘는 해저에 도달한 바 있다. 심해탐사에서 가장 첨단 방법은 진짜 로봇을 이용하는 것이다. 미국 우즈홀 해양연구소에서 1995년에 개발한 ABE(autonomous benthic explorer)는 한 번에 몇 달씩 작업할 수 있도록 미리 프로그램된 연구명령에 따라 해저의 정보를 수집하고 회수되는 ROV라고 볼 수 있다(그림 6).

우리나라도 2006년5월3일 6000m급 해양과학 탐사용 심해무인잠수정 '해미래'가 진수되었다. 미국 일본 프랑스에 이어 세계에서 네 번째다. 6000m급 무인잠수정은 전 세계 해양의 98%를 조사할 수 있다. 이번에 진수된 '해미래'는 USBL이라는 초음파 위치추적 장치와 관성 속도센서를 융합하여 6000m 깊이에서 5m 오차범위로 위치를 추적한다. 여섯 개의 프로펠러를 이용하여 수중에서 자유롭게 이동이 가능하다. 두 개의 로봇팔과 8개의 비디오카메라, 디지털 스틸 카메라가 설치되어 있다. 또한 해양과학 조사를 위한 각종 센서를 갖추고 있으며, 장애물 감지를 위한 전방 감시 초음파 센서와 해저지형 관독을 위한 정밀 초음파탐지기가 장착되어 있다. 중량 3660kg에 길이는 3.3m이고 높이 2.2m이다. 해양수산부의 지원을 받아 한국해양연구원과 잠수정 제작을 맡



그림 6. 미국 우즈홀 해양연구소에서 개발한 ABE(Autonomous Benthic Explorer)와 우리나라의 심해무인잠수정 '해미래'



은 국내기술진은 2001년부터 120억 원을 투입해 설계와 다중 선체 운동 제어, 위치추적, 수중통신, 운용 소프트웨어까지 모두 국내 기술로 개발되었다.

## 6. 음파탐사의 발전방향

누구나 지구 내부의 깊은 층에 대한 지식이 어떻게 얻어졌는가 하는 의문을 가질 것이나, 대부분의 경우에는 간접적인 방법으로 구해진 정보이다. 즉 지구(또는 매체)가 가지고 있는 성질을 물리적인 방법을 이용하여 그 특징을 밝혀내는 학문이 지구물리학이며 탐사(또는 조사)에 이 학문을 적용할 경우 물리탐사라고 부른다. 주로 사용되는 분야는 지진파(또는 탄성파), 중력 그리고 자력이 대표적인 연구방법이다. 특히 해양에서는 음파를 이용하는 방법이 보편화되어 있으며, 그밖에 최근에는 인공위성을 이용하는 분야(주로 광파)도 급속히 발전하고 있다.

해양이 지구 표면적의 70%를 차지하고 있지만 우리의 활동무대는 여전히 육지에 국한되어 있다. 해양을 충분히 이해하지 못하고 있기 때문에, 바다에 대한 궁금증을 해결하기 위하여 여러 가지 탐사방법이 끊임없이 개발되어 왔다. 특히 물이 가지고 있는 특수한 성질 때문에 음파를 이용하는 기술분야가 해저탐사에서 핵심적으로 적용되고 있다. 최근에는 IT산업의 발전과 함께 전산시스템의 소형화, 고속화, 대용량화를 위한 기술개발이 빠른 속도로 진행되고 있으며, 해양분야에서는 수중통신기술과 내압기술 등의 분야가 빠르게 발전하고 있다. 이러한 영역들이 해저탐사기술에 접목되는 가까운 미래에는, 광파에 비해 상대적으로 해상력이 절대 부족한 음파분야를 보완하는 대책의 한 방법으로 광파와 음파를 결합한 형태의 장비개발과 탐사기술이 실용화될 것으로 기대하고 있다.

특히 심해무인잠수정 ‘해미래’를 이용함으로써 정밀 해저지형도 작성, 지질 분석, 망간단괴를 비롯한 심해자원 탐사, 해저화산대 주변에 분포하는 열수광상(마그마로부터 방출된 열수가 지하 틈을 따라 상승해 그중에 함유된 광물이 침전하여 생긴 광상)에 대한 연구가 좀 더 구체적으로 진행될 것으로 보고 있다. 최근에는 석유자원의 고갈에 따

른 인류의 차세대 대체연료로 부각되는 해저 메탄수화물에 대한 관심이 높아지고 있어서, ‘해미래’를 이용하는 방안도 적극적으로 검토되고 있다.

## 참고자료

- 2002년 하반기 통합표시과목직무연수 공통과학, 강원대학교 사범대학 부설 중등교육연수원, 2002, 419p.
- 2003년 하반기 중등교원공통교과직무연수 공통과학, 강원대학교 사범대학 부설 중등교육연수원, 2003, 387p.
- 2004 학년도 공통교과공통과학직무연수, 강원대학교 사범대학 부설 중등교육연수원, 2004, 500p.
- 2006년도 한국지구과학올림피아드 겨울학교 강의 교재, 한국지구과학회, 2007, 165p.
- 과학자들은 지구에 관한 연구를 어떻게 할까?, 과학기술홍보대사(엠베서더) 초청강연, 웹사이트 등록자료, 동아사이언스·한국과학문화재단, 2005.
- 레이더로 땅속까지 훤히 본다, 중앙일보, 제 12423호, 2004년12월16일자, 22면.
- 음파특성의 쉬운 이해와 해저탐사에 적용, 김성렬, 이용국, 정백훈, 전기학술대회논문집, 한국마린엔지니어링학회, 2005, 630~636.
- 해양과학총서 1, 해양개발의 현재와 미래, 한국해양연구원, 1995(2판), 125p.
- 해양과학총서 2, 해양과 인간, 한국해양연구원, 1994, 133p.
- 해양과학총서 5, 지구환경 변화사와 해저자원, 한국해양연구원, 1999, 151p.
- 해양자원과 해저탐사의 원리, 과학의 날 특강 전문가초청 강연자료집, 서울특별시 과학전시관, 2005, 1~15.
- 해양학, 강호진의 옮김, 시그마프레스, 2002, 537p.
- 해저탐사에 적용되는 음파특성, 김성렬, 이용국, 정백훈, 한국석유지질학회지, 2006, 12권, 14~19.
- Side Scan Sonar 실무이론과 자료처리 -현장조사에서 Mosaic Mapping 까지-, 단기강좌자료집, 대한지구물리학회, 2005, 97p.